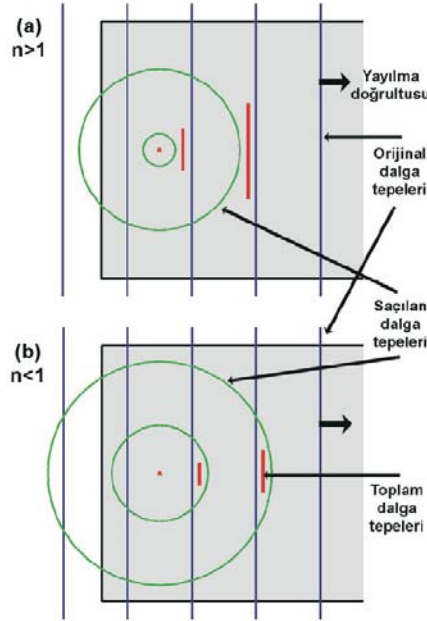


“c” ışık hızı, her elektromanyetik dalganın vakumdaki hız değerini veriyor. “n (kırma indisi)” ise “ $n=c/v$ ” den, bir ortamdan diğerine geçen ışığın bu iki ortamdaki hızlarını karşılaştırma olanağını sunuyor. Peki “cam malzeme içerisindeki X ışınları” için kırma indisinin “1” den az olması, yani “v” hız değerinin “c” ışığın boşluktaki hız değerinden daha fazla olması ne anlama gelmektedir? Bunun nedenine ilişkin yapılmış açıklamaları nereden bulabilirim? [...]
Ersan Karaoğlu

En baştan şunu açıkça belirtelim: X ışınları için kırma indisi sadece camda değil, bütün maddelerde 1’den küçüktür. X ışınlarının tanımında bir miktar belirsizlik olduğu için, bu ifadeyi biraz daha kesinleştirelim. Bildiğiniz gibi her madde belli frekanslardaki ışığı soğurur, geri kalanları geçirir. Örneğin su görünür ışığı geçirirken, spektrumda kızılötesiyle mikrodalga arasında kalan daha düşük frekanslı ışıkları ve morötesinden X ışınlarının bir kısmını kaplayan daha yüksek frekanslı ışıkları soğurur. Her maddenin buna benzer, kendine özgü bir soğurma frekansları listesi var. Kural şu: Eğer bir madde üzerine düşen ışığın frekansı, o maddenin bütün soğurma frekanslarından yüksekse, o zaman kırma indisi 1’den düşüktür. Bu da genellikle yüksek frekanslı X-ışınları ve (daha da yüksek frekanslı) gama ışınları için söz konusu.

“Işığın hızı madde içinde neden farklılaşır?” veya “kırma indisi nasıl ortaya çıkar?” gibi sorular, aralarında Richard Feynman’ın da bulunduğu bir çok ünlü fizikçiye meşgul etmiş. Temel sorun şu: Maddeyi oluşturan çekirdek ve elektron topluluklarının arasında boşluklar olduğu için, ve bu boşluklar da bildiğimiz boş uzaydaki boşluğa aynı şey olduğu için, ışığın burada da aynı hızla yol almasını bekleriz. O halde neden her madde için, hatta her frekans için farklı bir yayılma hızı buluyoruz?

Işığın elektronlar tarafından saçılması bu olayda can alıcı rolü oynuyor. Foton dilinde sa-



çılma, bir fotonun bir elektron tarafından soğurulup hemen sonrasında tekrar yayınlanması şeklinde ifade edilir. Fakat burada, biraz daha fazla anlaşılır olduğu için, kuantum kavramlarını kullanmamızı gerektiren foton dili yerine, daha klasik “elektromanyetik dalga” dilini kullanacağım. Bu dilde, ışığın yapısını oluşturan ve ona eşlik eden elektrik ve manyetik alanlar, elektronları yerlerinde titreştirmeye zorlarlar. Titreşen elektronlar da çevreye kendi dalgalarını yayarlar (saçılan ışık). Elektronların ışığın frekansıyla aynı frekansta titreştiğini, bu nedenle yayınlanan ışığın da aynı frekansta olduğunu ekleyelim.

Dışarıdan zorlanmış titreşim hareketinin, herkesin deneyerek görebileceği ilginç bir özelliği var. Kaba bir örnek olarak, bir sarkacı ipinden tutarak salladığınızı düşünün. Eğer sarkacı sallama hareketinizin frekansı (sarkacı saniyede kaç defa itip çektiğiniz), sarkacın doğal frekansından küçükse, o zaman sarkacın kütlesi elinizle aynı yöne gidip gelir. Buna karşın doğal frekanstan daha sık sallıyorsanız, bu durumda küttele elinizle göre ters yöne gider. Yani, elinizi sağa götürdüğünüzde, kütle sola kayar vs. Aynı olay, bir elektromanyetik dalga nedeniyle titreşen elektronlar için söz konusu. Gelen dalganın frekansı, elektronların doğal titreşim frekanslarından (ki bunlar soğurma frekanslarıyla aynı) yüksekse, elektron dalgaya göre ters yönde titreşir, düşükse aynı yönde. İlk paragrafta tarif ettiğimiz olay zorlanmış titreşimin bu özelliğinden kaynaklanıyor.

Ama önce diğer konuyu halledelim. Feynman, maddenin içindeki ışığı iki farklı dalganın üst üste gelmesi şeklinde düşünmemizi öneriyor. Bunlardan birincisi, maddeye dışarıdan giren, dış kaynaklar tarafından üretilmiş olan dalga (biz buna ‘orijinal dalga’ diyece-

ğiz). Eğer madde orada olmasaydı, sadece bu dalga var olacaktı. İkinci dalga da elektronların zorlanmış titreşimleri sonucu ortaya çıkan ‘saçılan dalga’. Her iki dalga da ışığın boşluktaki hızıyla yol alır. Ama, bir şekilde, ikisinin üst üste gelmesiyle ortaya çıkan “toplam dalga” daha farklı bir hızla yol alıyormuş gibi görünür (Feynman’ın ifadesi).

Tüm olay oldukça karışık. Örneğin, bir atom sadece orijinal dalgayı değil, diğer tüm atomlardan saçılan dalgaları da saçıyor. Üstelik her bir atomdan saçılan dalga mümkün olan her yöne doğru yayılıyor. Bunun dışında birden çok dalga üst üste geldiği zaman neler olabileceğini tahmin edersiniz. Yıkıcı girişim dediğimiz durumda bir dalganın tepesi, başka birinin çukuruna denk gelir ve birbirlerini yok ederler. Yapıcı girişimde de aksine birbirlerini güçlendirirler. Problem çok karmaşık olduğundan sadece sonuçları listeleyeceğim.

1. Orijinal dalganın gittiği ve geldiği yön dışındaki bütün yönlerde yıkıcı girişim etkisini gösterir ve saçılan dalgalar birbirini yok eder. (Doğrusunu söylemek gerekirse bu kural sadece ışığın dalgaboyunun atomlar arası mesafeden yeterince büyük olduğu durumlarda geçerli.) 2. Geriye doğru giden saçılan dalgalar yapıcı girişime uğrar; bu da yansıyan ışığı oluşturur. Bu açıklamanın en garip sonucu bu: Yansıyan ışığı maddenin bütün atomları beraber oluşturur. Fakat bize, yansıma sadece yüzeyden kaynaklanıyormuş gibi görünüyor. 3. İleriye doğru giden saçılan dalgalarla orijinal dalga üst üste geldiğinde, girişim nedeniyle orijinal dalganın tepeleri biraz ileriye ya da biraz geriye kayar.

Şimdiki problemimiz 3. şıkla ilgili olduğundan sadece bunun üzerinde duralım. Şekil (a)’da sadece tek bir atomdan saçılan dalgayla orijinal dalga gösteriliyor. Eğer ışığın frekansı düşükse, saçılan dalganın tepeleri orijinal dalgayı biraz geriden takip eder (yaklaşık çeyrek dalgaboyu kadar). Sonuç olarak, ikisi üst üste bindirildiğinde elde edilen toplam dalganın tepesi biraz geride kalır. Eğer tüm atomlar göz önüne alınırsa, buradan toplamın dalgaboyunun kısaldığı bulunabilir. Dalgaboyunun kısalma oranı, bildiğimiz gibi, kırma indisini verir. Buradan hareketle toplam dalganın aynı oranda yavaşladığını söyleyebiliriz.

Tersi durumda, yani gelen ışığın frekansı çok yüksekse, elektronlar ters yönde titreştiğinden, saçılan dalgalar da ters faza olacak (yani tepe yerine çukur, çukur yerine tepe). Bu durumda (Şekil (b)), saçılan dalgaların tepeleri orijinalinkinden biraz önde olacağından, toplamın dalgaboyu büyür. Bu da kırma indisinin 1’den küçük olması anlamına gelir.

Ne yazık ki, yerimiz kalmadığından önemli bir kaç soruyu yanıtlayamadık (Hızın c’nin üzerine çıkması neden görelilik kuramına aykırı değil?) Bunları da başka bir aya bırakalım.

